DIE

# ZONULA CILIARIS.

HABILITATIONSSCHRIFT

VON

DR. FR. MERKEL,
PROSECTOR IN GÖTTINGEN.

MIT ZWEI TAFELN.

LEIPZIG,
VERLAG VON WILHELM ENGELMANN.
1870.

c

# VORBEMERKUNG.

Bei der Schwierigkeit, menschliche Augen vor dem Eintritt von Leichenveränderungen zu bekommen, musste ich meine Untersuchungen ausschliesslich an Thieraugen vornehmen. Auch hier war durch die Ungunst der Verhältnisse die Auswahl eine sehr kleine und in grösserer Menge standen mir nur Schafsaugen zu Gebote, auf welche sich auch, wenn nichts weiter bemerkt ist, die folgenden Angaben beziehen. An den wenigen menschlichen Augen, welche ich mir verschaffen konnte, war mit Sicherheit nur die Art des Ursprungs der Zonula-Elemente, und zwar so, wie es in den folgenden Zeilen beschrieben ist, festzustellen. Ueber den freien Theil der Zonula, sowie den Ansatz an der Linse werde ich berichten, sobald es mir gelingen wird, frische menschliche Augen zu bekommen.

März 1870.

**Der Verfasser.**

Schon seit einer Reihe von Jahren ruhen die Untersuchungen über die Zonula, denn Niemand hielt es der Mühe werth, einem Organ, dem man nur eine geringe Bedeutung zumisst und dessen Anatomie man abgeschlossen glaubte, noch weitere Aufmerksamkeit zu schenken. In der letzten Zeit nun wurden SCHWALBE und ich zugleich wieder auf dieselbe aufmerksam, und wir untersuchten sie, von verschiedenen Gesichtspunkten ausgehend, unabhängig von einander. SCHWALBE[1]) betrachtete sie in Bezug zu seinen Studien über die Lymphbahnen des Auges, während ich durch meine Arbeit über die Ora serrata und die Pars ciliaris retinae dazu kam, ihren Bau zu studiren. Die Resultate sind ebensosehr verschieden, wie die Ausgangspunkte und stehen sich in gewissen Fragen diametral gegenüber.

Ueber Geschichte und Literatur der Zonula hier noch nähere Angaben zu machen, ist unnöthig, da SCHWALBE dieselbe schon ausführlich behandelt hat, und ich begnüge mich, in kurzen Worten über den Stand der Frage zu berichten.

Seit einem Jahrhundert haben sich die Ansichten über den Bau der Zonula nur in so weit geändert, als man durch

[1]) De canali Petiti et de zonula ciliari. Habilitationsschrift. Halle, Januar 1870.

Vervollkommnung der mikroskopischen Hilfsmittel im Stande war, die Fasern, welche PETIT[1]) und ZINN[2]) mehr geahnt, als nachgewiesen hatten, wirklich zu finden und genau zu beschreiben.

Nach der altherkömmlichen Beschreibung also, der sich auch SCHWALBE anschliesst, theilt sich die Hyaloidea an der Ora serrata retinae in zwei Blätter, die anfänglich einander dicht anliegen, aber dann, von der Spitze des Ciliarkörpers zur Linse überspringend, auseinanderweichen und den Linsenrand zwischen sich nehmen, indem das hintere Blatt die Fossa patellaris auskleidet, während das vordere sich auf der vorderen Linsenkapselwand ansetzt und mit ihr verschmilzt. Der zwischen den beiden Blättern und dem Linsenrande bleibende drei- oder viereckige Raum wird als Canalis Petiti beschrieben. Ueber die Entstehungsweise der Fasern sind die Meinungen getheilt. Sehen wir von BRÜCKES[3]) Ansicht ab, der die Fasern vollständig läugnet und nur Falten der Zonula annimmt, so lassen die Einen dieselben an der Aussenseite der Hyaloidea entspringen[4]), während Andere, insbesondere SCHWALBE (a. a. O.) sie aus der Substanz der Zonula selbst entstehen sehen. Eine grosse Anzahl von Forschern enthält sich einer Ansicht hierüber vollständig und constatirt nur das Vorkommen derselben. Die Endigung der Fasern wird von allen Beobachtern auf die vordere Kapselwand verlegt, und nur HENLE[5]) sieht sie auch an die hintere Kapselwand gehen.

---

1) Mem. Acad. 1726. p. 80.

2) Zinn. Descript. ocul. hum. ed. Wrisberg. 1780. p. 109.

3) Brücke, Anat. Beschreibg. d. menschl. Augapfels. Berlin 1847. p. 33.

4) Kölliker, Gewebel. 1867. p. 696.

5) Handb. d. syst. Anat. p. 673.

Die erste Frage, welche bei der Untersuchung der Zonula zu beantworten ist, ist die nach der Existenz der Membrana hyaloidea überhaupt, denn fehlt dieselbe, so fällt die Theorie von ihrer Theilung in zwei Blätter von selbst in sich zusammen.

Man hat früher niemals an ihrer Existenz gezweifelt und Henle[1]) ist der erste, der sie läugnet und eine einzige Membran, seine Limitans hyaloidea annimmt, welche dem Glaskörper und der Retina gemeinschaftlich sein soll. Ihm schliesst sich vollkommen Iwanoff[2]) an. Untersucht man die Oberfläche des Glaskörpers, so wird man an gehärteten Augen, so wie an Augen, die schon längere Zeit gelegen haben, ausser der Limitans interna stets ein membranartiges Gebilde finden, welches sich deutlich in Falten legt. Schwalbe[3]) beschreibt es sehr treffend als eine glatte Membran, die sich an Präparaten aus Müllerscher Flüssigkeit hie und da auf kurze Strecken isoliren lässt, jedoch immer nur so, dass noch kleine Fetzen des Glaskörpers daran hängen bleiben. Sie sieht an diesen Präparaten fein granulirt, wie mit Pulver bestreut, aus. An Augen, die dem eben getödteten Thier entnommen sind, ist eine über jeden Zweifel erhabene Untersuchung deshalb nicht möglich, weil hier der Zusammenhang zwischen Retina und Glaskörper ein so inniger ist, dass er nur mit Gewalt aufgehoben werden kann und man nie sicher ist, ob man nicht die Limitans mitgenommen oder die Hyaloidea zurückgelassen hat. Diese feste Verbindung löst sich erst nach ½—2 Stunden, wo dann der Glaskörper, der

---

1) a. a. O. p. 640.

2) Gräfe's Archiv, 15. Bd. II. Abth. 1869. p. 51.

3) a. a. O. p. 6.

seine Festigkeit noch bewahrt hat, leicht als Ganzes herausgenommen werden kann. Das sehr verschiedene Aussehen dieser Membran, sowie die Thatsache, dass an ganz frisch eingelegten Augen eine deutliche Abgränzung der Hyaloidea gegen den Glaskörper niemals aufgefunden werden konnte, was ja auch Schwalbe in seiner oben angeführten Beschreibung sagt, bewogen mich, die Frage einer genaueren Prüfung zu unterziehen, welche mich zu dem Resultate führte, dass eine Hyaloidea nicht existirt.

An einem menschlichen Auge, welches ganz frisch in verdünnte Osmiumsäure gelegt wurde, die bekanntlich in der Conservirung der Gebilde des Auges Ausgezeichnetes leistet, traf es sich durch einen glücklichen Zufall, dass sich die Limitans int. in grosser Ausdehnung von der Retina löste und auf dem Glaskörper haften blieb. Sie war an den anhängenden Radialfaserenden auf das leichteste zu erkennen. Ich hob sie mit Nadeln vorsichtig ab und constatirte bei sehr starker Vergrösserung an Falten, Umbiegungsstellen und Rändern, dass nur die Limitans allein gelöst war. Der Glaskörper, der dann in gleicher Weise untersucht wurde, zeigte auch nicht die leiseste Andeutung einer darauf liegenden Membran. Um nun aber die obenerwähnten Bilder aus Chromsäure zu erklären, welche immer eine deutlich verdichtete Oberfläche zeigen, theilte ich ganz frische Thieraugen, an denen die Trennung des Glaskörpers von der Retina noch nicht möglich war, durch einen Äquatorialschnitt in zwei Hälften und legte sie in die Lösungen. Nach Verlauf von einigen Wochen fand sich, dass nicht nur die Gränzflächen des Glaskörpers gegen benachbarte Organe, sondern auch die Schnittflächen von zarten Häutchen überzogen waren, welche sich deutlich in Falten legten, fein granulirt, wie

mit Pulver bestreut waren, und auf kleine Strecken auch selbstständig isolirt werden konnten. SCHWALBE sagt, dass er die Hyaloidea an Augen von Hühnern als völlig selbstständige Membran in grösseren Strecken isolirt habe. Auch diesen Versuch machte ich in gleicher Weise nach, und fand unter andern eine Scheibe, welche ich aus der Mitte des Glaskörpers ausgeschnitten hatte, nach einer einmonatlichen Einwirkung von Platin-Chromsäureflüssigkeit auf beiden Flächen von einer verhältnissmässig ziemlich dicken Membran bedeckt, die sich mit Leichtigkeit abziehen liess und alle Eigenschaften einer Hyaloidea zeigte.

Eine Bestätigung meiner Versuche fand ich in dem von BOWMAN[1]) gegen BRÜCKE und HANNOVER gerichteten Aufsatz, in welchem er Präparate beschreibt und abbildet, bei welchen er ebenfalls auf den Schnittflächen die von den beiden genannten Forschern angegebenen häutigen Gebilde, die den Glaskörper durchziehen sollen, findet.

Aus dem Gesagten geht hervor, dass auf jeder Oberfläche des Glaskörpers, mag sie nun künstlich oder natürlich sein, verdichtete, membranartige Schichten willkürlich hervorgerufen werden können, und es ergiebt sich von selbst, dass also auch die vordere Gränze desselben, die Fossa patellaris und die hinter der Zonula gelegene Partie stets von diesen Kunstprodukten bedeckt sind.

Der Glaskörper schmiegt sich auch vor der Ora serrata fest an die Limitans interna an und begleitet dieselbe allenthalben zwischen die Ciliarfortsätze in die feinsten Falten und Fältchen hinein, was man auf jedem Äquatorialschnitt durch diese Theile zu constatiren vermag. Seine vordere Gränze

[1]) The Dublin quarterly journal of med. science. Bd. VI. p. 102.

ist nur mit grosser Schwierigkeit zu bestimmen, doch scheint er an der Stelle zu enden, wo die hintersten Zonulafasern vom Ciliarkörper zur Linsenkapsel überspringen, da hier nicht selten eine verdickte Rinde nachzuweisen ist, welche mit der, welche die Fossa patellaris auskleidet, im Zusammenhang steht.

Nur an kranken Augen, besonders an solchen, welche in der Ora serrata arkadenartig geordnete Fasern zeigen, (Mensch, Hund) sind hie und da bandartig gewundene Verdichtungen aufzufinden, die in ihrem Verlauf an die Figur erinnern, welche der Längsschnitt der Olive des verlängerten Markes zeigt und ganz entschieden präexistirend sind; sie ragen jedoch immer an dieser Stelle in das Innere des Glaskörpers vor und sind auf die Endstelle der Ora serrata beschränkt.

Ehe nun die Zonula selbst behandelt wird, sind noch einige Worte über die Theile zu sagen, von denen sie nach aussen begränzt ist. Mit dem Corpus ciliare steht sie in gar keinem Zusammenhang, wie schon seit lange bekannt ist, doch übt dasselbe durch seine Gestalt einen unverkennbaren Einfluss auf die Anordnung der Zonula-Elemente aus, da die Pars ciliaris retinae, welche allein mit der Zonula in Berührung tritt, aufs Genaueste die Formen des Ciliarkörpers wiedergiebt. An einem andern Orte[1]) habe ich bereits ausgeführt, dass sich nach dem Verschwinden der Stäbchenschichte die Limitans externa der Retina der Pigmentschichte der Choroidea anlegt, und dass die Zellen der Pars ciliaris niemals dieselbe direkt berühren.

Diese äusserste Choroidealschichte besteht aus den

---

[1]) Macula lutea und Ora serrata. Engelmann 1870. p. 14.

sechseckigen Pigmentzellen, welche die Choroidea vom Opticuseintritt bis an den Pupillarrand der Iris auskleiden, und die im Bereiche des Ciliarkörpers im Allgemeinen die regelmässige Form bewahren und nur in einzelnen Fällen zu rundlichen Gebilden werden, welche, wie es scheint, sogar ihren Zellencharakter verlieren können. Zwischen der Limitans externa und interna, welche ihren parallelen Verlauf, den sie an der Ora serrata für eine kurze Strecke aufgegeben haben, wieder annehmen, liegen die Zellen der Pars ciliaris der Retina (Taf. I. Fig. 8), welche beim Menschen und bei den Vögeln cylindrisch gestaltet sind, während sie beim Kaninchen vierseitige Prismen darstellen und bei den Wiederkäuern, bei einer ebenfalls im Ganzen prismatischen Form, durch platte Fortsätze mit einander in Verbindung treten. Sie sind, wie ganz besonders schön an Froschaugen nachzuweisen ist, die direkten Abkömmlinge der Zellen, von welchen die Müllerschen Stützfasern ausgehen. Von der Limitans interna ragen bei den Säugethieren zwischen dieselben kurze Leisten mit unregelmässig ausgezacktem Rand hinein, die auf Taf. I. in Fig. 9 vom Kaninchen abgebildet sind. Bei diesem Thier sind die Zellen der Pars ciliaris in sehr regelmässige Längsreihen angeordnet, so dass auch die Leisten in schönen Vierecken stehen, und an Stellen, wo die Zellen fehlen, ein Bild entsteht, als seien dieselben in eine weiche, später fest gewordene Masse eingedrückt worden. Auf der, dem Innern des Auges zugekehrten Fläche ist die Limitans interna vollkommen glatt und bildet auf dem Querschnitt die, von der Retina her bekannte, scharfe Linie. Die Pars ciliaris setzt sich in dieser Weise bis zu der Stelle fort, wo der Ciliarkörper und die Iris zusammenstossen und endigt hier, nachdem während des Verlaufes die Zellen immer kürzer und

kürzer geworden sind, mit einem abgerundeten Rand. Auf der hinteren Fläche der Iris ist niemals eine Fortsetzung derselben zu finden, und die sechseckigen Epithelzellen sind die äusserste Begränzung derselben nach der hinteren Augenkammer. Dieses Fehlen einer Membran auf der Rückseite der Iris lässt sich sehr schön an solchen Stellen nachweisen. wo an gehärteten Augen das Pigment der Uvea auf der vorderen Linsenkapsel liegen bleibt. Schabt oder schneidet man solche Stellen ab, so zeigen sich immer nur unregelmässige Pigmenthäutchen, oder hie und da noch ganze Pigmentzellen, ohne irgend welche Spuren einer Membran, welche ja ebenfalls auf der Kapsel liegen geblieben sein müsste, und ich möchte glauben, dass SCHWALBE, welcher von der Rückfläche der Iris eine Membran beschreibt, (p. 17) die sich sehr leicht in radiärer Richtung spaltet, vielleicht die Schichte des radiären Bindegewebes gesehen hat[1]. welche GRÜNHAGEN die Matrix des Epithels nennt[2], dass er also beim Zerfasern, durch welche Methode er seine Präparate darstellte, die Innenseite mit der Aussenseite des Irisepithels verwechselte.

Meine Untersuchungen über die Zonula selbst haben ergeben, dass sie ein auf dem Durchschnitt dreieckiges Band darstellt, welches vom Gipfel der Ciliarfortsätze zur Kapsel überspringt und sich an dieser, den Linsenrand zwischen sich fassend, auf der vorderen und hinteren Fläche ansetzt. Ein an dieser Stelle beschriebener Canalis Petiti existirt im lebenden Thiere nicht, und die Zonula ist für keine andere Flüssigkeit zugänglich, als für die den ganzen Körper über-

---

[1]) Henle und Pfeufer's Ztschr. Bd. 34. p. 83.

[2]) Ebendaselbst Bd. 28. p. 176.

haupt durchtränkende. Sie beginnt zugleich mit der Pars ciliaris der Retina und schliesst sich ihr aufs engste an, so dass man an abgetrennten Stücken derselben ihr Ende oder vielmehr ihren Anfang mit der welligen Linie zusammenfallen sieht, welche das Aufhören der nervösen Retinaelemente bezeichnet. Sie besteht hier ausschliesslich aus Fasern, welche von Henle[1]) in ihrem Aussehen und ihrer Reaktion schon genau beschrieben worden sind. Zieht man die Zonula, sie vorsichtig mit der Pincette fassend, von dem Ciliarkörper ab, was an Augen, die in Chromsäure von 1/6 Gran auf die Unze Wasser eingelegt sind, leicht gelingt, besonders, wenn man dieselben nach der Chromsäureeinwirkung noch 6—12 Stunden in Wasser legt, so sieht man ein Bild wie das in Taf. II. Fig. 1 gezeichnete. Die Fasern entstehen sehr fein, bei manchen Thieren nur mit den stärksten Vergrösserungen nachweisbar, an der Gränzlinie zwischen Ora serrata und Pars ciliaris und sind auch hier in unversehrtem Zustand völlig straff und gerade. Doch bekommt man sie so unversehrt verhältnissmässig selten und nur bei sehr vorsichtiger Präparation zu Gesicht, da sie sich bei nur einigermassen gegewaltsamem Abreissen wellig kräuseln, wie es auch in der angeführten Figur wiedergegeben ist. Man findet oft sehr eigenthümliche und zierliche Bilder, die fast an krauses, aber sorgfältig geordnetes Haar erinnern. Denn da der Zug der Hand meist kleine Abweichungen nach der einen oder andern Seite macht, liegen auch die gekräuselten Fasern ebenso (s. Abbildung). Dieses Verhalten der Zonulafasern erlaubt den Schluss, dass sie hier nicht in eine Membran eingewebt sind, sondern vollkommen frei auf dem Glaskörper liegen,

---

[1]) a. a. O. p. 672.

und ferner, dass sie bis zu einem gewissen Grad elastisch sind, da sie ja offenbar zurückschnellen. Bedeutend, d. h. den eigentlichen elastischen Fasern analog, kann aber die Elasticität nicht sein, denn sonst würden sie in grösserer Ausdehnung Kräuselung zeigen.

Es ist hier der Platz, einer eigenthümlichen Art von Zellen zu gedenken, welche Schwalbe (a. a. O. p. 23) hauptsächlich in der Gegend des Orbiculus ciliaris in der Zonula findet, und die aus einem grossen Kern und wenig Zellensubstanz bestehen. Es sind dies die bekannten, von Henle [1]) genauer beschriebenen, kugligen Körperchen, welche sich allenthalben an der Oberfläche des Glaskörpers finden. Sie liegen, wie auch der genannte Forscher findet, an der Ora serrata in grösserer Masse bis ziemlich weit in die Substanz des Glaskörpers hinein. In der Gegend des Orbiculus ciliaris lagern sie sich wieder in einfacher Reihe, doch keineswegs in einer Ebene, so dass sie also auch in keiner Membran liegen können.

Die beschriebenen Ursprünge an der Ora serrata sind nicht die einzigen; je weiter die Zonula vorrückt, um so mehr verstärkt sie sich durch hinzukommende Fasern. Dieselben entspringen nämlich an der ganzen Ausdehnung der Limitans interna von der Ora serrata entweder bis zum Ende der Ciliarfortsätze an der Iris, so beim Hunde und Kaninchen, oder nur bis zum Gipfel derselben, wie bei den Wiederkäuern. Die Ursprünge der Fasern liegen hier nahe zusammen, in der Art wie die Aehren aus einem gepflügten Acker hervorsprossen (Taf. I. Fig. 6, 7). Diese einfache Art der Entstehung der Fasern erklärt auch ihren Verlauf. Wie

---

[1]) Handb. d. syst. Anat. p. 674 u. f.

auf einem Felde die Aehren zwischen den Furchen dichter stehen, als auf den Erhöhungen derselben, so verhält es sich, nur in höherem Grade, auch hier an der Zonula; da nämlich die Oberfläche in den Thälern zwischen den Ciliarfortsätzen bedeutend vermehrt ist, finden auch an dieser Stelle die meisten neuen Fasern Platz (Taf. I. Fig. 6) und es kommt zur Bildung von lockern Bündeln; aber, wie sich von selbst versteht, ohne dass der zwischen diesen bleibende Raum von Fasern gänzlich frei wäre, da ja hier die von den Firsten der Ciliarfortsätze kommenden verlaufen. Dieses Verhalten ist auch schon in der Gegend des Orbiculus ciliaris ausgeprägt (vergl. Taf. II. Fig. 4), da auch hier, wie SCHWALBE[1]) genauer beschreibt, radiale Fältchen existiren, welche eine solche Anordnung möglich machen.

Die von der Höhe der Falten des Corpus ciliare kommenden Fasern legen sich diesem dicht an und ziehen in grader Richtung, die Falten und Windungen desselben überspringend, nach vorwärts, dem Gipfel der Ciliarfortsätze zustrebend.

Anders verhalten sich die aus den Thälern kommenden Verstärkungsfasern; dieselben zeigen nämlich das Bestreben, aus den Furchen heraus und in gleiche Linie mit den, auf dem Kamm der Ciliarfortsätze enstehenden Fasern zu treten. Sie verlassen ihre Ursprungsstelle in spitzem Winkel, und verlaufen ganz allmählig nach innen ziehend durch die Furchen nach vorwärts, bis sie in gleiches Niveau mit den äussersten Fasern getreten sind. Auf ihrem Wege durchsetzen sie den äussersten Theil des Glaskörpers, der sich ja, wie oben erwähnt, in die Falten des Ciliarkörpers einpresst, was

---

1) a. a. O. p. 10 f.

man sogar noch an alten Augen, an welchen man Glaskörper, Zonula und Linse im Zusammenhang lösen kann, an den Abdrücken der Ciliarfortsätze auf jenem aufs deutlichste sieht. Macht man aber einen Querschnitt durch diese Theile (Taf. I. Fig. 6), so ist kein Zweifel mehr möglich, denn es ist mit Leichtigkeit zu constatiren, dass sich Glaskörpersubstanz bis an die Limitans interna herandrängt, und ebenso klar sieht man auch, wie die Fasern durch den Glaskörper nach innen ziehen, um die Furchen zu verlassen.

Es giebt zugleich kein besseres Argument gegen die bisherige Beschreibung der Zonula als Membran, wie die Betrachtung eines solchen Durchschnittes. Besonders die Faserquerschnitte (in Fig. 6) zeigen, dass hier eine solche vollständig unmöglich ist, denn abgesehen davon, dass man jedenfalls den Querschnitt derselben, ebenso gut wie den der Limitans erkennen müsste, ist es gar nicht zu verstehen, wie eine Membran verlaufen müsste, die alle diese Fasern in ihrer Fläche enthielte. Nimmt man mit Schwalbe an, dass die angebliche Membran der Zonula der Limitans anliegt, so müssten die in Fig. 6 quer getroffenen Fasern jedenfalls aus derselben heraustreten, was sie aber nach seiner Beschreibung nicht thun. Nimmt man mit Andern neben den Fasern noch eine Membran an, so müsste man doch irgend eine Spur derselben entweder dicht an der Limitans interna, oder auf dem Gipfel der Ciliarfortsätze zu Gesicht bekommen. Aber nichts zeigt sich, als die in den Glaskörper eingelassenen Fasern.

Dieselben treten nach kurzem oder längerem Verlauf zu eng vereinigten Bündeln zusammen, die nach Schwalbe's Angabe, die ich vollkommen bestätigen kann, oft zu einem homogenen Strang werden (Taf. I. Fig. 7*b*.). Den Grund

dieses Verhaltens oder eine bestimmte Norm der Vereinigung aufzufinden, ist mir nicht geglückt; wir werden jedoch später sehen, dass ihr Verlauf ein ganz bestimmter wird.

Die Zonulafasern verfolgen nach ihrer Entstehung drei verschiedene Wege. Der geringste Theil derselben biegt schon nach einer kurzen Strecke ab, um sich im Glaskörper zu verlieren. Bei manchen Thieren (Wiederkäuern) beobachtet man nur ganz vereinzelte Fasern, welche nach einwärts laufen, und sich schliesslich immer feiner werdend der Beobachtung entziehen. Beim Schwein aber finden sich stärkere Stränge, welche immer nach vorn in den Glaskörper hineinragen, plötzlich in eine Menge kleiner Reiserchen zerfahren und dann verschwinden (Taf. I. Fig. 5).

Die zweite Art des Verlaufes, die von den allermeisten Fasern eingehalten wird, ist die über die Unebenheiten des Ciliarkörpers wegspringend bis zu deren Spitze, von wo sie dann frei nach der Axe des Auges zustreben.

Die dritte Art des Verlaufes, welcher ebenfalls ziemlich viele Fasern folgen, ist eine circuläre. Nachdem nämlich diese Fasern in der gewöhnlichen Art mit den übrigen entstanden sind, folgen sie auch auf eine kurze Strecke ihrem Verlauf. Plötzlich jedoch biegen sie im rechten Winkel um, und legen sich so, dass sie von dem Kamm des einen Ciliarfortsatzes zu dem des nächsten eine breite Brücke bilden (Taf. I. Fig. 4). Durch diesen Verlauf entsteht ein Band, welches sich so vor die meridional verlaufenden Fasern legt, dass diese durch dasselbe von dem Innern des Auges abgehalten werden. Wie diese zonalen Fasern endigen, ist nicht mit Sicherheit zu eruiren; am wahrscheinlichsten ist es jedoch, dass sie in derselben Weise wieder zur Limitans zurückkehren, wie sie von derselben ausgegangen sind.

Dieses circuläre Band beginnt nicht an einer ganz bestimmten Stelle, sondern erscheint ungefähr da, wo man die Ciliarfortsätze makroskopisch sich erheben sieht (Schaf). Es endigt eben so unbestimmt, etwa am Anfang des vordersten Drittels derselben. Zur Beobachtung bringt man es am leichtesten, wenn man an Augen, die in Weingeist gehärtet sind, die Zonula mit dem Glaskörper sachte abzieht und letzteren, soweit als thunlich, mit einer feinen Scheere abschneidet. Man legt dann die Zonula nach oben und setzt etwas Anilin zu. Die Fasern färben sich sofort schön roth und durch Heben und Senken des Tubus kann man sich abwechselnd die meridional und die cirkulär verlaufenden Fasern zur Anschauung bringen.

Der Zweck dieses Bandes scheint der zu sein, die meridional verlaufenden Fasern auf dem Ciliarkörper festzuhalten und ihr Vorfallen in den Glaskörper zu verhindern.

Die von der Ora serrata kommenden Fasern haben sich während ihres Verlaufes zum grossen Theil zu den innig verkitteten meist homogenen Strängen zusammengefunden und diese sind es, welche man als die starren, festen Zonula-Fasern zu bezeichnen pflegt. Sie verlassen den Ciliarkörper entweder von der Spitze der Ciliarfortsätze aus oder je nach der Individualität schon etwas früher, um zur Linse überzuspringen. Die vordersten Fasern, welche die Rückwand der hinteren Augenkammer bilden, sind ohne Zweifel durch eine feste Zwischensubstanz zu einer Art Membran verbunden. Sie findet sich an allen Präparaten, sie mögen behandelt sein, wie sie wollen und ist also gewiss präexistirend. Sie ist nichts weiter, als das Analogon des Kittes, welcher die Fasern zu den erwähnten homogenen Strängen verbindet. Dann macht man Querschnitte dieser Fasern,

Schnitte, welche den Gipfel der Ciliarfortsätze streifen, so sieht man, wie sie hier zu 3, 4 und mehr durch diese Substanz verbunden, nach der vorderen Fläche der Zonula abgehen. Flächenansichten dieser vorderen Grenzschichte lehren, dass die flachen Bündel sich nun verklebt haben und eben die erwähnte Membran bilden. Dieser membranöse äusserste Theil ist es, welcher bis jetzt allein als Zonula beschrieben wurde; er ist von grosser Persistenz und erhält sich Tage lang nach dem Tode. Die makroskopische Ansicht der vorderen Grenzschichte war schon den ältesten Beschreibern PETIT und ZINN wohl bekannt und wird von ihnen (a. a. O.) beschrieben. Am besten lässt sie sich mit einer gefalteten Halskrause vergleichen und verdankt diese Form ihrer Abhängigkeit von der Gestalt der Ciliarfortsätze. Die hervorragenden Kämme der letztern drücken die Zonula ein und sie kann nur zwischen denselben weiter nach vorne ragen. Ohne weiter auf die Beschreibung dieser Faltung einzugehen, kann ich mich darauf beschränken, SCHWALBE's Beobachtungen über dieselbe zu bestätigen.

Die Vordergränze der Zonula besteht nur aus den stärksten der starren, zu homogenen Strängen verkitteten Faserbündel. Dieselben nehmen dann nach der Tiefe des Auges mehr und mehr ab, so dass die hintere Grenzschichte der Zonula entweder ausschliesslich oder doch zum grössten Theile aus den ursprünglichen feinen, Bindegewebsfibrillen nicht unähnlichen, Fasern besteht. An ihrer Abgangsstelle von den Ciliarfortsätzen noch zu einem dichten Bündel verbunden, in welchem die feinen Fasern unter der Menge der starren, homogenen Stränge verschwinden, weichen sie auf dem Querschnitt fächerförmig sich ausbreitend auseinander und umgreifen den Linsenrand in weiter Ausdehnung

(Fig. 1, 2 auf Taf. I). Die Fasern der vorderen Grenzschichte verlieren in der Nähe des Ansatzes an der Linse den verbindenden Kitt wieder und inseriren sich bündelweise, wieder zu feineren Fasern zerspalten an die Kapselwand, in der sie sich völlig verlieren (Taf. I. Fig. 3, 6, Taf. II. Fig. 2). Zwischen ihnen sieht man auf Flächenansichten der Kapsel (Taf. I. Fig. 3 *c.*), mehr nach dem Linsenrande zu, die tieferen feineren Schichten zum Vorschein kommen, welche sich dann in ununterbrochener dichter Reihenfolge, die eine Faser neben der anderen an die Wand der Linsenkapsel ansetzen und sich in ihr verlieren (Taf. I. Fig. 4 u. 3). Der Ansatz der letzten Fasern reicht mindestens bis zu einem Millimeter über den Linsenrand hinaus auf die Fläche der hinteren Kapsel und auch hier zeigen sich, wie an der vorderen Fläche, Bündel, welche in regelmässigen, von den Ciliarfortsätzen bedingten Abständen über die Hauptmasse der Fasern hinausgreifen und hier verschwinden (Taf. I. Fig. 3 *d.* u. Taf. II. Fig. 3). An diese hintersten Fasern stösst dann bei Säugethieren der Glaskörper unmittelbar an, während er sich bei Vögeln noch zwischen die Zonulaelemente selbst hinein erstreckt (Taf. I. Fig. 2 *d.*).

Die bisherigen Angaben, welche nur Fasern erwähnen, welche auf die vordere Kapselfläche gehen, und die nach der hinteren Kapsel verlaufenden Fasern übersehen, lassen sich dadurch sehr leicht erklären, dass diese Fasern auf's Aeusserste vergänglich sind. Man kann sie in dieser Beziehung mit der Retina in eine Linie stellen und darf sicher sein, dass man an Augen, welche man nicht noch warm, oder doch wenigstens so frisch, dass die Linse noch völlig ungetrübt ist, in Chromsäure legt, statt dieser zarten Gebilde eine Lücke, mit wenig krümligem, formlosem Detritus ausge-

füllt, vorfindet. Merkwürdigerweise halten sich die verkitteten Faserbündel sehr lange aufs beste, und ich muss glauben, dass es eben diese Kittsubstanz ist, welche sich sehr resistent gegen die sonst allgemeine Veränderung der inneren Gewebe des Auges verhält.

Wenn Schwalbe (p. 20) sagt, man könne den Linsenrand an ausgebreiteten Präparaten der Kapsel nicht genau bestimmen, so kann ich auf die lange feststehende Thatsache hinweisen, dass das Epithel der Kapsel mit demselben aufhört (Taf. I. Fig. 3*a*.). Dass diese alte Beobachtung vollkommen richtig ist, kann man mit Leichtigkeit an radiären Durchschnitten von gehärteten Linsen nachweisen, an denen das Epithel genau bis zum Rande geht. Mit der letzten Epithelzelle beginnt die Kernzone der Linsenfasern und auch diese kann in ihren der Kapsel anliegenden Theilen als Anhaltspunkt benutzt werden. Denn häufig kommt es vor, dass beim Abziehen der Kapsel noch die äussersten Linsenfasern an derselben hängen bleiben und man sieht dann auf der Flächenansicht unter den mit einer scharfen Linie aufhörenden Epithelzellen die Kerne der Linsenfasern in unregelmässiger Weise in die letzteren eingestreut.

Da sich nun herausgestellt hatte, dass die Zonula den ganzen Linsenrand zwischen sich fasst, und dass sich an ihre hintere Grenze sofort der Glaskörper anschliesst, zeigte sich, dass der von allen Lehrbüchern seit vielen Jahrzehnten beschriebene Canal, der diese Stelle einnehmen soll, der Canalis Petiti, nicht existirt.

Eine rein negative Behauptung gegen eine alte positive Thatsache, die durch Experimente in jeder Vorlesung über Anatomie belegt werden kann, aufzustellen, wäre ein missliches Ding. Da es mir aber gelungen ist, das Gewebe nach-

zuweisen, welches den bis jetzt angenommenen leeren Raum erfüllt, so hoffe ich den Leser um so leichter von den Resultaten meiner Untersuchung zu überzeugen

Der Vorlesungsversuch, in den Canalis Petiti Luft einzublasen, der noch von ZINN[1]) herrührt, ist leicht auf eine Täuschung zurückzuführen. Denn, wie oben bemerkt, zerfallen die Fasern der hinteren Zonulaparthieen auf das schnellste. Jeder der den Versuch des Lufteinblasens öfter gemacht hat, wird zugeben, dass er mit Sicherheit nur an älteren Augen gelingt, an Augen also, an welchen schon Leichenveränderungen eingetreten sind; denn an absolut frischen Präparaten ist das Ausschälen des Glaskörpers mit Zonula und Linse vollkommen unmöglich und Verletzungen aller Art sind nicht zu vermeiden. Dass ein Organ, welches frisch untrennbar mit den Nachbartheilen zusammenhängt, in Maceration begriffen sein muss, wenn diese Trennung möglich geworden ist, ist ja klar, und wie vorsichtig man in Beurtheilung von derartigen Präparaten sein muss, zeigt der oberflächlichste Blick auf die Errungenschaften der modernen Histologie.

Dass die Luft auch diejenigen Theile der Zonula aufbläht, welche nicht, wie die vordere Grenzschichte, membranartig verkittet sind, erklärt sich daraus, dass der Zonula beim Abziehen von den Ciliarfortsätzen immer die Limitans interna, oft auch, wie bekannt, die ganze Pars ciliaris und sogar die Pigmentschichte der Choroidea folgt, welche dann als Zonulamembran fungiren.

Auch SCHWALBE's neueste Versuche, der statt der Luft Berliner Blau[1]) und Silberlösung zur Injection benützt, lassen

---

[1]) Vergl. a. a. O. Taf. VII. Fig. 1.

[2]) Er sticht eine Canüle durch die Mitte der Cornea und injicirt

sich erklären. Macht man nämlich durch Augen, welche in ganz frischem Zustand mit Berliner Blau injicirt sind, Meridionalschnitte, so sieht man, dass die Masse wirklich in die Substanz der Zonula selbst eingedrungen ist, und sich nicht etwa hinter sämmtlichen Fasern, zwischen der hinteren Grenzschichte und dem Glaskörper befindet. An stark gefüllten Stellen zeigt sich in der Mitte, dem angeblichen Canal entsprechend, eine alles überdeckende blaue Färbung, und nur die vordere und hintere Grenzschichte sind als Fasern zu erkennen. Sogar diese letztere findet sich häufig zerstört und die Masse ist auf den Glaskörper geflossen, den sie dann in unregelmässiger Weise von Linse und Ciliarkörper abhebt. Flächen- und Querschnitte durch weniger vollkommen zerstörte Theile zeigen, dass die Fasern, sowohl die feinen, als auch die stärkeren, d. h. die verkitteten Bündel, von der Linse oder vom Ciliarkörper abgerissen und zurückgeschnellt sind. Sie liegen in allen möglichen Richtungen durch einander gewirrt zwischen den krümeligen Massen des injicirten Berliner Blau und bieten so viel vollständiger das Bild der Zerstörung, als die prall mit Injectionsmasse ausgefüllten Theile. Dass ein Injectionsdruck von 50$^{mm}$ Quecksilber die feinen Elementarbestandtheile der Zonula zerstört, ist nicht zu verwundern, denn er ist gewiss im Stande noch festere Gewebe, als die in Rede stehenden, zu zerreissen. Gegen die Art des Eindringens vom Linsenrande her, wie sie Schwalbe beschreibt, ist nichts zu erinnern, denn gewiss ist hier, wo die membranöse, vordere Grenzschichte die ver-

---

dann das Berliner Blau mit einem Drucke von 50$^{mm}$ Quecksilber. Nach einer Minute füllt sich der Canalis Petiti durch feine Spalten in der Zonula dicht an der Insertion auf der Linsenkapsel. Vergl. a. a. O. p. 24.

bindende Substanz zwischen den Fasern verliert, die einzige Stelle, von wo Flüssigkeit in die weiter rückwärts gelegenen Zonulaparthieen eindringen kann Macht man die Versuche nicht mit dem Druckapparat, sondern mit der Spritze, indem man Cornea und Iris entfernt und dann in die blosgelegte Zonula einsticht, so bemerkt man, dass es eines viel bedeutenderen Druckes bedarf, um die Füllung zu bewirken, als man es bei einem so weiten Canal, wie es der bisher beschriebene ist, erwarten sollte; auch fliesst die Injectionsmasse nicht ruhig fort, sondern immer in kleinen Rucken, was bei einem vollkommen offenen Lumen durchaus nicht der Fall sein könnte.

Auch die Injection mit Silberlösung ergibt ähnliche Resultate. Schwalbe sagt von ihr, sie sei besonders geeignet, die Membranen der beiden Wände des Canalis Petiti darzustellen, da sich dieselben in bekannter Weise braun färben. Für die vordere Grenzschichte mit ihren verkitteten Fasern ist dies auch aufs schönste an jedem Präparat nachzuweisen. Auch als Rückwand des Canales stellt sich eine Membran dar, welche aber nie vollkommen homogen aussieht, sondern immer einen undeutlich reticulären Bau zeigt. Um nun zu constatiren, ob diese eigenthümliche Rückwand des angeblichen Canales etwas Natürliches oder nur ein Kunstprodukt sei, wofür ich es nach meinen Untersuchungen halten musste, injicirte ich in dem gleichen Auge erst die Zonula und dann durch Einstich eine beliebige Stelle des Glaskörpers. In der Substanz desselben bildete sich sofort ein unregelmässiger Ballen von Silberlösung, der sich rasch in der gewöhnlichen Weise bräunte. Nach einiger Zeit legte ich dann ein Stückchen der Rückwand des angeblichen Canales mit einem ausgeschnittenen Stückchen des injicirten

Glaskörpers zur Vergleichung auf ein Objectglas und konnte auch nicht den geringsten Unterschied constatiren. Die beiden Stückchen waren sich so ähnlich, dass ich genau darauf achten musste, sie nicht zu verwechseln. So oft man diesen Versuch wiederholt, bleibt das Resultat immer dasselbe. Man sieht also, dass hier die Rückwand des PETIT'schen Canales eine Membran ist, welche man an jeder beliebigen Stelle des Glaskörpers jeder Zeit hervorzurufen im Stande ist.

Was nun schliesslich noch die physiologische Thätigkeit der Zonula betrifft, so ergibt sich aus der beschriebenen Gestalt derselben noch viel mehr eine Bestätigung der experimentellen Postulate, als dies nach der bis jetzt angenommenen Form der Fall sein konnte. Ich schliesse mich in der Auffassung der Physiologie dieser Theile ganz den von F. E. SCHULZE[1]) ausgesprochenen Ansichten an und halte mit ihm die Zonula für den Antagonisten des Musc. ciliaris. Fiele nun aber der Angriffspunkt der Zonula nur auf die Vorderfläche der Linse, so müsste diese bei dem Verlauf der bis jetzt allein beschriebenen vorderen Grenzschichte, der neben der Richtung von der Peripherie zur Axe auch noch die von hinten nach vorn zeigt, nicht allein abgeplattet, sondern auch nach hinten gedrängt werden, was bekanntlich nicht der Fall ist. So wie sich jetzt der Bau der Zonula darstellt, entspricht die Richtung des Durchschnittes der beiden Grenzschichten einer Resultante, welche genau auf den Linsenrand trifft, und dieser ist es in erster Linie, welcher in allen Richtungen von der Axe des Auges entfernt wird. An dieser Stelle liegen auch überdiess die Insertionspunkte der einzelnen Fasern am dichtesten zusammen und müssen von hier

[1]) Schultze's Archiv 3. Bd. p. 477.

aus gewiss am allersichersten zur Wirkung kommen können. Dass diese Wirkung eine die Linse abflachende sein muss, braucht nicht weiter ausgeführt zu werden.

---

## Tafelerklärung.

### Tafel I.

Fig. 1. Vom Schwein. Meridionalschnitt durch den Ciliarkörper, die Zonula und die Linse. Die Zonulafasern inseriren sich auf vorderer und hinterer Kapselwand in continuirlicher Reihe. Ein Canalis Petiti ist nicht zu sehen, seine Stelle wird von den Fasern der Zonula eingenommen. Der Linsenrand (a) ist deutlich markirt (Vergr. 50).

Fig. 2. Zonula vom Huhn. a. Iris. b. Choroidea mit dem Corpus ciliare, von welchem die Zonulafasern zur Linse (c) überspringen. Zwischen die Zonulaelemente ragt noch Glaskörpersubstanz (d) hinein (50).

Fig. 3. Vom Schaf. Ansatz der Zonula an der Linsenkapsel. Die Kapsel liegt ausgebreitet und die Zonula ist in ihrem freien Theil durchgeschnitten. Der Linsenrand (a) ist kenntlich dureb das Aufhören des Epithels. Die Fasern der vorderen Grenzschichte inseriren sich in einzelnen Bündeln (b) auf der vorderen Kapselwand. Zwisehen ihnen kommen (c) die tieferen Sehichten der Zonula zum Vorschein. d. Insertionen der Zonulafasern auf der hinteren Kapselwand. Auch hier ragen einzelne Bündel weiter vor, als die Hauptmasse der Fasern. e. Punktförmige Querschnitte von Fasern (100).

Fig. 4. Flächenansicht der Kämme einiger Ciliarfortsätze vom Schaf. Cirkuläres Faserband, welches die eigentliehen Zonulaelemente einsehliesst (120).

Fig. 5. Im Glaskörper verschwindende Zonulafasern vom Schwein (300).

Fig. 6. Querschnitt durch zwei Ciliarfortsätze vom Schwein. Dieselben sind von der Pars ciliaris überzogen, welche sich durch die Limitans interna gegen den Glaskörper abgrenzt. Von dieser entspringen

die Zonulafasern in continuirlicher Reihe und durchsetzen dann auf ihrem Weg nach dem Inneren des Auges den Glaskörper. Viele Fasern sind im Querschnitt zu sehen (110).

Fig. 7. Ursprünge der Zonulafasern vom Hund aus der Limitans interna. Das eine Bündel (a) ist noch in seinen einzelnen Fasern zu unterscheiden, während das andere (b) sich sogleich zu einem homogenen Strang vereinigt (160).

Fig. 8. Vom Schwein. Pars ciliaris der Retina (a) von der Pigmentschichte der Choridea (b) abgelösst. Die Limitans externa und interna sind sehr deutlich zu sehen (550).

Fig. 9. Vom Kaninchen. Flächenansicht der prismatischen Zellen der Pars ciliaris und der Limitans interna. Auf derselben zeigen sich die zwischen die Zellen hineinragenden Längs- und Querleisten (330).

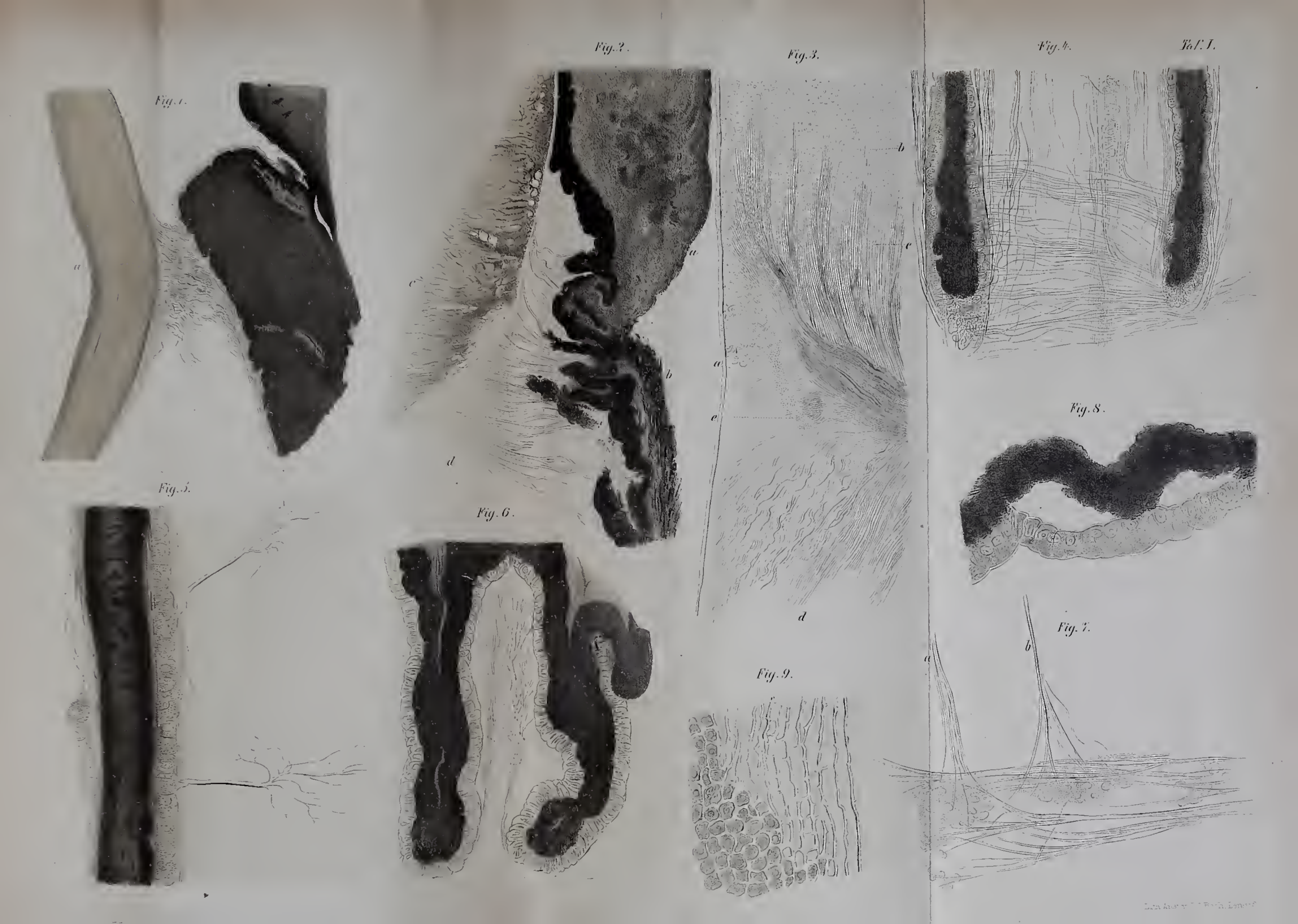
## Tafel II.

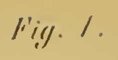
Fig. 1. Vom Schaf. Erster Ursprung der Zonulafasern an der Ora serrata. Flächenansicht, durch Ablösen der Zonula von der Limitans interna gewonnen. Die meisten Fasern zeigen sich an ihrem Anfang durch das Abreissen gekräuselt (100).

Fig. 2. Mensch. Ansatz einiger Bündel der vorderen Grenzschichte auf der vorderen Kapselwand (250).

Fig. 3. Mensch. Ansatz eines Bündels der hinteren Grenzschichte auf der hinteren Kapselwand (300).

Druck von Breitkopf und Härtel in Leipzig.


Taf. I.
Fig. 1.
a
Fig. 2.
a
b
c
d
Fig. 3.
a
b
c
d
e
Fig. 4.
Fig. 5.
Fig. 6.
Fig. 7.
a
b
Fig. 8.
Fig. 9.



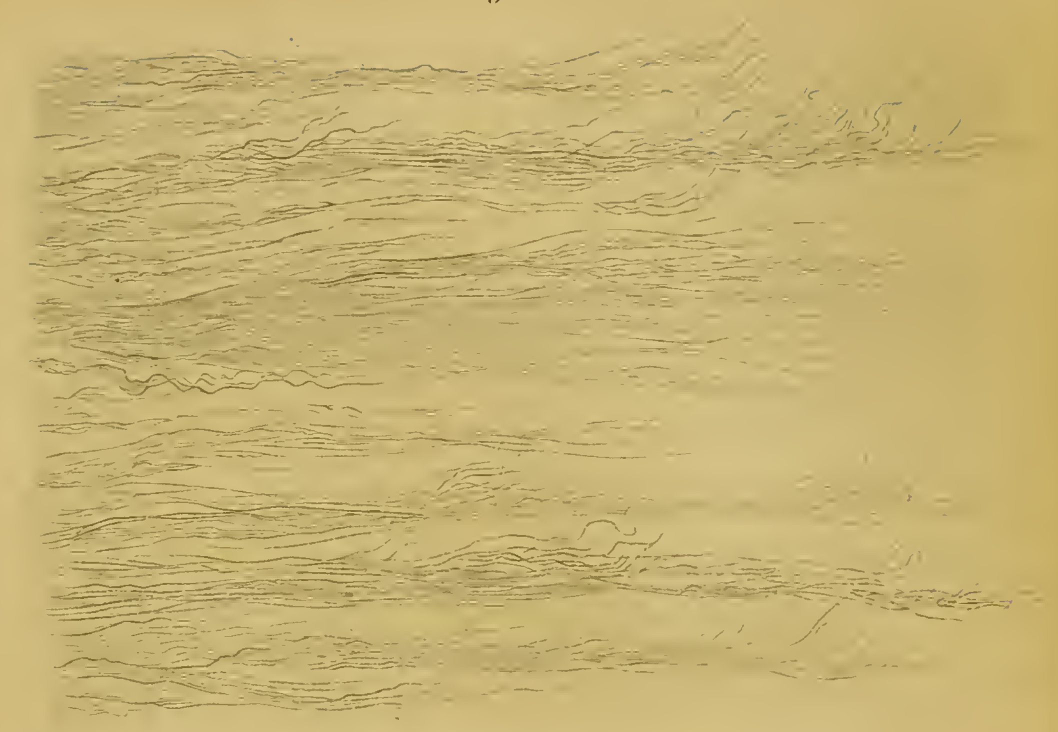



Fig. 2.

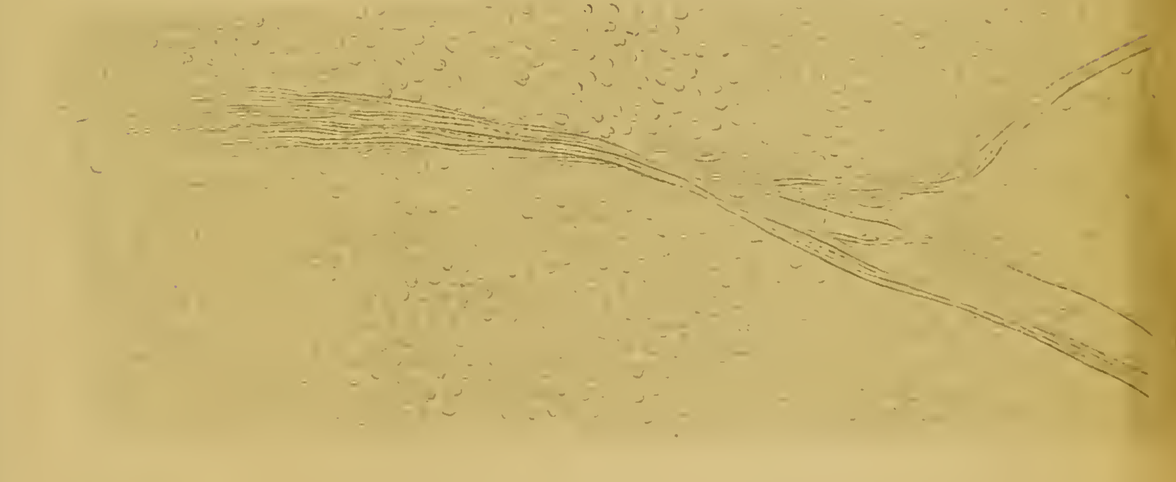


Fig. 3.